

## ⑫ 公開特許公報(A) 平1-231217

⑤ Int. Cl.<sup>4</sup>

H 01 B 12/10

識別記号

Z A A

庁内整理番号

6969-5 G

⑬ 公開 平成1年(1989)9月14日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全5頁)

⑭ 発明の名称 交流用超電導ケーブル

⑯ 特 願 昭63-53750

⑰ 出 願 昭63(1988)3月9日

⑱ 発 明 者 松 木 正 基 千葉県市原市八幡海岸通 6 古河電気工業株式会社千葉電  
線製造所内⑲ 発 明 者 一 柳 直 隆 千葉県市原市八幡海岸通 6 古河電気工業株式会社千葉電  
線製造所内⑳ 発 明 者 古 戸 義 雄 東京都千代田区丸の内 2-6-1 古河電気工業株式会社  
内

㉑ 出 願 人 古河電気工業株式会社 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号

㉒ 代 理 人 弁理士 松本 英俊

## 明 細 書

1. 発明の名称 交流用超電導ケーブル

2. 特許請求の範囲

超電導物質層を有する内導体と金属或いは一部が超電導物質層よりなる外導体とが同軸状に配置されてなる超電導ケーブル本体が、その電流相数の整数倍の本数でまとめて構成され、前記各超電導ケーブル本体はその電流位相が隣り合う前記超電導ケーブル本体と異なるように配置されていることを特徴とする交流用超電導ケーブル。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、交流損失を低減する交流用超電導ケーブルに関するものである。

〔従来技術〕

第3図は従来の超電導ケーブルの例を示したものである。図示のように従来の超電導ケーブルは、超電導物質層1と同等の金属からなる安定化層2とが接合された複合超電導テープ3をその超電導物質層1を外向きにして半径rの管状に形成した

内導体4と、超電導物質層5と同等の金属からなる安定化層6とが接合された複合超電導テープ7をその超電導物質層5を内向きにして半径R(>r)の管状に形成して内導体4を同軸状に包囲してなる外導体8と、内導体4の内側に形成された冷媒通路9と、内導体4と外導体8との間に介在された絶縁層10と、外導体8の外周に冷媒通路11を形成するようにして同軸状に配置されたパイプ12と、パイプ12の外周に同軸状に配置された断熱層13と、断熱層13を包囲して同軸状に配置されたパイプ14とで構成されていた。この場合、安定化層2、6は、何かの原因により一時的に超電導状態が破れた時、電流を逃すバイパスの役割をもっている。

〔発明が解決しようとする課題〕

しかしながら、このような超電導ケーブルでは、交流用として使用した場合、交流損失が発生する。交流損失により発生する熱量は、超電導物質にとって好ましくなく、冷却の規模を大きくし、設備コストを大きくしてしまう問題点がある。

本発明の目的は、交流損失を低減できる交流用超電導ケーブルを提供することにある。

〔課題を解決するための手段〕

上記の目的を達成するための本発明の構成を説明すると、本発明は超電導物質層を有する内導体と金属或いは一部が超電導物質層よりなる外導体とが同軸状に配置されてなる超電導ケーブル本体が、その電流相数の整数倍の本数でまとめて構成され、前記各超電導ケーブル本体はその電流位相が隣り合う前記超電導ケーブル本体と異なるように配置されていることを特徴とする。

〔作用〕

このようにすると、超電導物質層の表面電流密度が低下し、交流損失を小さくすることができる。また、互いの超電導ケーブル本体の間の境界の漏れについては互いに打ち消すため、外導体の安定化層に発生する渦電流損失を低下させることができる。

〔実施例〕

以下、本発明を3相交流送電用の超電導ケーブ

ルに適用した第1図乃至第2図に示す実施例にもとづいて詳細に説明する。なお、前述した第3図と対応する部分には同一符号をつけて示している。本実施例の交流用超電導ケーブルは、超電導物質層1と金属からなる安定化層2とが接合された複合超電導テープ3で管状に形成された内導体4と、該内導体4の内部に形成されている冷媒通路9と、該内導体4の外周に同軸状に設けられている絶縁層10と、該絶縁層10の外周に同軸状に金属ワイヤー15を纏り合せて形成された外導体8とからなる超電導ケーブル本体16を複数状有する。これら超電導ケーブル本体16は、u相、v相、w相用として3条を1ユニットとして断面3角形状に配置されている。これら1ユニットの超電導ケーブル本体16は、纏り合わされる場合と、纏り合わされない場合とがある。また、各超電導ケーブル本体16の表面は絶縁層で絶縁することが好ましい。また、これら超電導ケーブル本体16は、u相、v相、w相の順に反時計方向に配列されている。他のユニットも同様に構成されている。

ユニット相互間でも異なる相の超電導ケーブル本体16が隣り合うように配置がなされている。このような各ユニットは図示のように断面円形状に配列され、その中心及び隣接する超電導ケーブル本体16の間に冷媒通路17が形成され、且つ断面円形配置の各ユニットの外周には一括してパイプ12、断熱層13、パイプ14が同軸状に設けられている。円形に配置されたこれら各ユニットは、纏り合わされる場合と、纏り合わされない場合とがある。

この場合、超電導物質層1は、例えばビスマス、ストロンチウム、カルシウム、銅の酸化物、或いはイットリウム、バリウム、銅の酸化物等で形成される。外導体8の金属ワイヤー15は例えば銅で形成される。安定化層2に対する超電導物質層1の形成は、例えばスパッタリングで行うことができる。

このような交流用超電導ケーブルにおける1m当りの交流損失は、以下の式で表わすことができる。

$$P = (2\sqrt{3}) \cdot \mu_0 \cdot (I_0 / P\ell)^3 \cdot P\ell (f / J_c) \quad \dots (1)$$

ただし、

$P$  : 1m当りの交流損失 (W/m)

$\mu_0$  : 透磁率 (H/m)

$I_0$  : 通電電流 (A)

$P\ell$  : パリメータ

(この場合は、周の高さ) (m)

$I_0 / P\ell$  : 表面電流密度 (A/m)

$J_c$  : 超電導導体層の臨界電流 (A/m)

$f$  : 交流周波数 (Hz)

さて、交流用超電導ケーブルとして使用する場合、 $\mu_0$ 、 $f$ 、 $J_c$  は一定と考えてよく、これらを一定とすると、

$$P = k : (I_0^3 / P\ell^2) \quad \dots (2)$$

ただし、 $k$  : 定数

となる。

第3図のような従来構造の超電導ケーブルの場合、3相通電では3条のケーブルが必要であるから、各相に1(A)の電流が流れる時の交流損失

を  $P_1 (W/m)$  とすると、下記のようになる。

$$\begin{aligned} P_1 &= 3 \{ [k \cdot I^2 / (2\pi R)^2] + [k \cdot I^2 / (2\pi r)^2] \} \\ &= 3 \{ [k] / (2\pi)^2 \cdot [(1/R^2) + (1/r^2)] \} \end{aligned} \quad \dots (3)$$

ただし、

$r$  : 内導体4の半径 (m)

$R$  : 外導体8の半径 (m)

一方、第1図に示すような本発明の交流用超電導ケーブルにおいて、同一の容量を得ようとした場合、各相に  $1/n$  (A) の電流を流せば良い。ここで、 $n$  はユニット数である。各ユニットでは内導体4は全部で  $3n$  個ある。

$$P_2 = [3nk(1/n)^2] / (4\pi^2 r_c^2) \quad \dots (4)$$

となる。ここで、 $r_c$  は内導体4の半径 (m) である。

従って、(3)、(4) 式より、下式を得ることができる。

来の約  $1/2$  となることがわかる。

また、本発明は電流の相変化を利用し、互いに磁束を打ち消す配置としたため、あえて外導体8に超電導材を使用する必要はないが、第2図のような構造で超電導材を使用すると、外導体8で磁気遮蔽が図られて、より一層交流損失を低減できる。この場合、超電導外導体8を形成する複合超電導テープ3のターン間の隙間から磁束がもれるようなことがあっても、各相の磁界の打ち消し合い作用により、もれを打ち消すことができる。

第3図に示す従来構造と第1図に示す本発明構造のものについて、下記のような具体例について比較したところ、下記のような結果が得られた。

従来構造

内導体の直径 : 320 mm ( $r = 160$  mm)

外導体の直径 : 350 ~ 390 mm ( $R = 175 \sim 190$  mm)

最外径 : 約 500 mm

とし、0.1 Teslaにつき  $J_c = 10^4$  (A/cm) の超電導材を使用すると、発生交流損失は 1.07 (W/m

$$P_2 / P_1 = \{ (r^2 R^2) / [(r^2 + R^2) \cdot r_c^2] \} \cdot (1/n^2) \quad \dots (5)$$

ここで、同じ電流容量を得るために本発明で使用する超電導内導体4の使用量を、従来の第3図に示す超電導ケーブルと同じにする。これは超電導物質層1に流れる電流密度を同じにするためである。つまり、超電導物質層1の厚さを  $t$  とし、従来と本発明の超電導内導体4を同等とすると、

$$3 \times 2\pi r t = 3n \times 2\pi r_c t$$

となり、

$$r / r_c = n \quad \dots (6)$$

を得る。(6) 式を(5)式に代入すると、

$$\begin{aligned} P_2 / P_1 &= R^2 / (r^2 + R^2) \\ &= 1 / \{ 1 + (r/R) \} \end{aligned} \quad \dots (7)$$

となる。ここで、従来構造の  $r$ 、 $R$  は大きく、 $r = R$  と仮定できるから、(7) 式より

$$P_2 / P_1 = 1/2 \quad \dots (8)$$

となる。つまり、本発明により、同一の電流容量を得る交流用超電導ケーブルの発生交流損失は従

来の約  $1/2$  となる。ただし、このときの超電導物質層1の厚さは 0.1 mm、安定化層2は銅でその厚さは 1 mm とした。

本発明構造

内導体の直径 : 5.3 mm ( $r_c = 2.65$  mm)

外導体 (銅線撚り合せ) の直径 : 93 mm

最外直径 : 約 500 mm

ユニット数 : 6

とすると、従来構造とほぼ同等の電流容量がとれる。このとき、0.1 Teslaにつき  $J_c = 10^4$  (A/cm) の超電導材を使用すると、発生交流損失は 0.6 (W/m) ・相となる。従って、従来構造と本発明構造とを比較すると、

$$(0.6 \times 3) / (1.07 \times 3) = 0.56$$

すなわち、発生交流損失を本発明によれば従来に比べて56%と小さくすることができた。

なお、上記実施例では、酸化物系の超電導材を使用した場合について説明したが、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、金属系の超電導材の場合にも同様に適用できることは勿論であ

る。

[ 発明の効果 ]

以上説明したように本発明に係る交流用超電導ケーブルは、超電導物質層を有する内導体と金属或いは一部が超電導物質層よりなる外導体とが同軸状に配置されてなる超電導ケーブル本体が、その電流相数の整数倍の本数でまとめて構成されているので、超電導物質層の表面電流密度を小さくでき、従って、交流損失を低減することができる。また、各超電導ケーブル本体はその電流位相が隣り合う前記超電導ケーブル本体と異なるように配置されているので、互いの超電導ケーブル本体の間に生じる磁界の漏れを打ち消すことができ、外導体の交流損失を低減することができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明に係る交流用超電導ケーブルの一実施例の横断面図、第2図は本実施例で使用している複合超電導テープの横断面図、第3図は従来の超電導ケーブルの横断面図である。

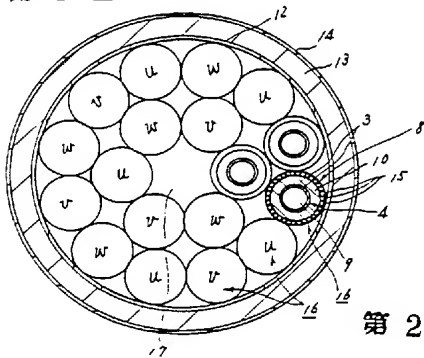
1…超電導物質層、2…安定化層、3…複合超

電導テープ、4…内導体、8…外導体、16…超電導ケーブル本体。

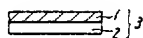
代理人 弁理士 松 本 英 俊



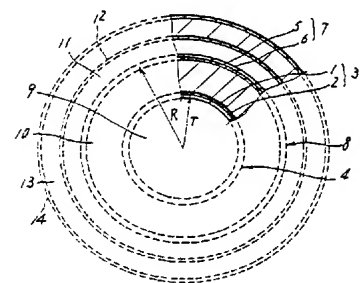
第 1 図



第 2 図



第 3 図



手 続 補 正 書 ( 自 発 )

昭和63年 4 月 5 日

特許庁長官 小 川 邦 夫 殿

1. 事件の表示 特願昭63-53750号

2. 発明の名称

交流用超電導ケーブル

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

(529) 古河電気工業株式会社

4. 代理人

東京都港区新橋4-31-6 文山ビル6階

松本特許事務所 (電話437-5781番)

(7345) 弁理士 松 本 英 俊

5. 補正の対象

明細書の発明の詳細な説明の欄

6. 補正の内容

明細書の第9頁第1行の「わかる。」の後に改行して下記の文を挿入する。

「 交流損失をより積極的に小さくするために、

63.4.8

第3図に示す従来の超電導ケーブルで使用した超電導材を、内導体4の分だけでなく、外導体8の分も、第1図に示す本発明の交流用超電導ケーブルの内導体4用に全部使用する方法がある。これによれば、以下に示す如く、同一電流容量を得るのに同一の超電導材の使用量で、その発生交流損失は従来の $1/8$ 以下となり、効率的である。本発明は、外導体8として必ずしも超電導材を使用しなくてもよいため、このようなことが可能となる。この例の場合、構造は第1図と同様であるが、超電導ケーブル本体16の径及び全体の最外径は約2倍近く小さくなるが、工夫すれば径を小さくすることも可能である。

この場合の発生交流損失の計算は、(5)式までは前述した例と同じである。(6)式の代りに $3 \times (2\pi r_l + 2\pi R_t) = 3n \times 2\pi r_c t$ となる。ただし、 $t$ は超電導物質層の厚さである。従って、

$$r + R = n r_c \quad \dots (9)$$

ここで、

$$r \neq R \quad \dots (10)$$

とすると、(5)式、(9)式、(10)式より

$$P_2 / P_1 \neq 1/8 \quad \dots (11)$$

となる。つまり、同一電流容量を得るのに発生交流損失は $1/8$ 以下となり、非常に効率的である。  
」

以 上